

**KEKUATAN LENTUR BALOK KOMPOSIT BETON DAN BATA
RINGAN TULANGAN BAMBU DENGAN VARIASI MUTU BETON**

PUBLIKASI ILMIAH

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



CHRISTOFORUS ADITYA DWIJO WIBOWO

NIM. 125060100111071

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

KEKUATAN LENTUR BALOK KOMPOSIT BETON DAN BATA RINGAN TULANGAN BAMBU DENGAN VARIASI MUTU BETON

Christoforus Aditya Dwijo Wibowo, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia - Telp. : (0341) 567710, 587711

E-mail: christoforus_aditya@yahoo.com

ABSTRAK

Teknologi rekayasa beton yang terus berkembang, material bambu yang mudah diperbaharui, berat material terkait dengan analisis gempa, serta tuntutan inovasi dalam bidang konstruksi bangunan, yang kemudian mencuatkan gagasan akan balok beton komposit bata ringan bertulangan bambu sebagai alternatif beton bertulang. Penelitian ini didesain menggunakan balok dimensi 200 x 16 x 20 cm dengan variasi mutu beton rencana 15 MPa dan 25 MPa. Bata ringan menggunakan variasi dimensi 50 x 8 x 8,5 cm dan 50 x 8 x 6,5 cm. Kemudian digunakan tulangan bambu dimensi 2 x 1 cm. Untuk mendapatkan hasil pengujian lentur murni, balok diletakkan di atas dua tumpuan sederhana dengan beban terpusat dibagi menjadi dua titik. *Dial gauge* diletakkan di kedua sisi di tengah bentang untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi. Balok komposit mutu 29,81 MPa, mampu menahan beban 2463 kg. Sedangkan balok komposit mutu 24,57 MPa mampu menahan beban 2550 kg. Perhitungan teoritis dengan menggunakan beban 500 kg pada saat kondisi elastis didapatkan bahwa mutu 29,81 MPa memiliki lendutan sebesar 0.578 mm dan mutu 24,57 MPa memiliki lendutan 0.915 mm. Selain itu, balok komposit mutu 29,81 MPa menghasilkan pola retak yang lebih banyak daripada balok komposit mutu 24,57 MPa.

Kata kunci: balok komposit, bata ringan, bambu, kuat lentur, mutu beton.

ABSTRACT

Concrete engineering technology that always growth, bamboo material that renewable, weight of material associated with the analysis of the earthquake, and the demands of innovation in building construction, which then raises the idea of composite concrete beam with lightweight brick and bamboo reinforcement as an alternative to reinforced concrete. This study was designed using beam with dimension of 200 x 16 x 20 cm, and variation of concrete quality plan of 15 MPa and 25 MPa. Lightweight brick using variation of the dimension of 50 x 8 x 8.5 cm and 50 x 8 x 6.5 cm. Then use bamboo reinforcement dimensions of 2 x 1 cm. To obtain a pure bending test results, beam laid on two simple support with the concentrate load which divided into two points. Dial gauge placed on both sides at mid span of beam to get the deflection occurs. In 29.81 MPa concrete quality, able to withstand the load of 2463 kg. While the concrete quality of 24.57 MPa capable of withstanding the load of 2550 kg. Theoretical calculations, by using a load of 500 kg at the elastic condition, found that the concrete quality of 29.81 MPa has a deflection of 0.578 mm and 24.57 MPa concrete quality has 0.915 mm deflection. In addition, the concrete quality of 29.81 MPa has yield crack pattern more than the 24.57 MPa concrete quality.

Keywords: composite beam, light brick, bamboo, flexural strength, the quality of concrete.

I. PENDAHULUAN

Teknologi rekayasa beton yang terus berkembang, material bambu yang mudah diperbaharui, berat material terkait dengan analisis gempa, serta tuntutan inovasi dalam bidang konstruksi bangunan, yang kemudian mencuatkan gagasan akan beton bertulang bambu komposit sebagai alternatif beton bertulang, yang kemudian dituangkan dalam komponen struktur balok beton komposit bata ringan tulangan bambu. Namun demikian, material tersebut masih perlu dikaji secara mendalam guna mendapatkan karakteristik teknis yang diharapkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok Komposit

Balok dapat didefinisikan sebagai elemen bentang arah horizontal dan beban yang bekerja berupa beban lentur, geser, maupun torsi. (Asroni, 2010).

Prinsip komposit adalah karakteristik dari masing-masing elemen yang berbeda diperhitungkan agar menjadi satu kesatuan ketika menahan beban dan akan menghasilkan perilaku yang sama. Pada sistem komposit, setiap komponen penyusunnya memiliki modulus elastisitas berbeda, yang kemudian diekuivalenkan dalam persamaan berikut:

$$n = \frac{E_c}{E_{\text{bambu}}}$$

Sehingga didapatkan luasan penampang komposit:

$$A = b \cdot h \cdot n$$

2.2 Beton

Secara umum, beton terbentuk dari pengerasan campuran antara semen dan air dengan agregat halus berupa pasir, dan agregat kasar berupa batu pecah sebagai *filler*, serta bahan tambahan (*admixture*).

Campuran antara semen dan air disebut pasta semen sebagai bahan ikat. Pasir dan kerikil sebagai bahan pengisi, yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara keduanya ini menjadi suatu kesatuan yang keras dan padat disebut beton. Secara garis besar dalam penelitian ini, harus diperhatikan nilai FAS, *slump*

test, dan mutu beton untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat.

2.3 Bata Ringan

Bata beton ringan dibuat untuk mengurangi berat beban struktur dari sebuah bangunan, meminimalisasi sisa material saat pemasangan dinding, serta mempercepat pelaksanaan pekerjaan. Menurut SNI 03-3449-13 1994, beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³. Modulus elastisitas bata ringan adalah 17500 MPa dengan kuat lekat (μ) sebesar 0,41 MPa. (Nindyawati, 2014).

2.4 Bambu

Bambu memiliki kekuatan yang bervariasi pada setiap bagiannya. Kekuatan bambu tidak banyak berubah pada bagian pangkal sampai dengan $\pm \frac{1}{2}$ tinggi bambu (Ghavami, 2004).

Bambu memiliki kelemahan terhadap serangan serangga, namun hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengawetan, misalnya dengan merendam bambu dalam air (Ghavami, 2004). Tanaman bambu mempunyai sifat higroskopis, dimana akan mengembang jika menyerap air dan mengering saat terjadi susut. Oleh karena itu diperlukan lapisan kedap air seperti cat.

Pada penelitian ini digunakan cat dengan pertimbangan bahwa cat memiliki daya lekat yang baik. Selain itu dapat menutup permukaan bambu dengan baik, dan memiliki sifat yang tidak rentan terhadap cuaca.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan bambu adalah kandungan air dalam bambu itu sendiri. Kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. (Pathurrahman, 1998).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Morisco (1999) diperoleh kuat

batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.3. Tabel 2.3 Tegangan Batas dan Tegangan Ijin Bambu.

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/m ²)	Tegangan Ijin (kg/m ²)
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 - 2940	98,07
Tekan	245 - 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196100

Selain itu, juga memperhitungkan kekuatan lekat bambu yang dihitung berdasarkan uji tegangan pull – out oleh Nindyawati, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Pull Out Test

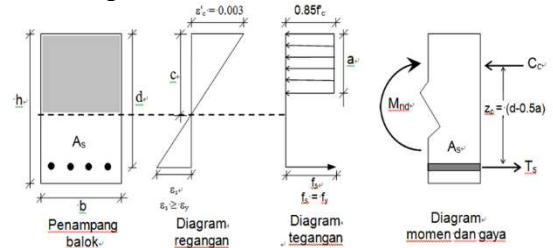
P	Dimensi Bambu	A	P/A
(N)	(cm x cm)	(mm ²)	(N/mm ²)
19800	1 x 1.1	110	180
17400	0.9 x 1.1	99	175
19000	1.2 x 0.9	108	175
15300	0.9 x 0.9	81	188
17100	1.0 x 0.9	90	190
18800	1.2 x 0.8	108	174
rata-rata			180

Dalam penelitian yang dilakukan oleh The United States Naval Civil Engineering Laboratory (1966, 2000), persentase minimum tulangan bambu terhadap penampang melintang balok adalah 3% – 4% untuk menghasilkan nilai beban optimum.

2.5 Sengkang

Sengkang pada balok beton komposit berfungsi untuk mengurangi susut pada saat proses *setting*. Selain itu pada proses pembebanan berlangsung sengkang bertujuan untuk mampu menahan gaya geser yang terjadi di sepanjang bentang balok. Perencanaan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena memberikan pengekanan yang lebih baik pada beton. (Nurlina, 2008). Dalam penelitian ini digunakan sengkang dari tulangan baja $\phi 6$ -200.

2.6 Kapasitas Balok



Kapasitas balok diinterpretasikan berdasarkan nilai momen lentur nominal yang dianalisis dengan persamaan berikut sebagaimana diilustrasikan dengan gambar di atas:

$$\sum \text{Gaya horizontal} = 0; C_c - T_s = 0$$

$$0.85 f'_c a b - A_s f_y = 0, \text{ sehingga } a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$M_n = T_a \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

atau

$$M_n = 0.85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

2.7 Defleksi Balok

Analisis defleksi balok dalam penelitian ini secara garis besar mengikuti persamaan defleksi berikut:

Struktur & Pembebanan	Momen Maksimum	Defleksi Maksimum	Lokasi Maksimum
	$\frac{1}{4} PL$	$\frac{PL^2}{48EI}$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{Pab}{L}$	$a \geq b \rightarrow \frac{PB(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI}$	$a \geq b \rightarrow \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$
	Pa	$\frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{1}{8} qL^2$	$\frac{5qL^4}{384EI}$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{1}{12} qL^2$	$\frac{qL^4}{120EI}$	$\frac{1}{2} L$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

1. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 15 MPa dengan ukuran balok 200x20x16 cm, dimensi penampang tulangan bambu 2x1x194 cm, dan dimensi bata ringan 50 x 8 x 8,5 cm. Benda uji sebanyak 3 buah.
2. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 15 MPa dengan ukuran balok 200x20x16 cm, dimensi penampang tulangan bambu 2x1x194 cm, dan dimensi bata ringan 50 x 8 x 6,5 cm. Benda uji sebanyak 3 buah.

3. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 25 MPa dengan ukuran balok 200x20x16 cm, dimensi penampang tulangan bambu 2x1x194 cm, dan dimensi bata ringan 50 x 8 x 8,5 cm. Benda uji sebanyak 3 buah.
4. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 25 MPa dengan ukuran balok 200x20x16 cm, dimensi penampang tulangan bambu 2x1x194 cm, dan dimensi bata ringan 50 x 8 x 6,5 cm. Benda uji sebanyak 3 buah.
5. Pengecatan dan penaburan pasir pada tulangan bambu.
6. Pembuatan bekisting.
7. Pengecoran benda uji balok.
8. Pengambilan sampel silinder beton berukuran 5 cm³ sejumlah 3 buah pada masing-masing pengecoran.
9. Perawatan benda uji selama 14 hari dengan cara disiram dan ditutup karung basah
10. Pengujian kuat tekan beton dari sampel balok setelah berumur 28 hari
11. Pengujian balok beton yang berusia 28 hari dilakukan dengan beban statik vertikal hingga mencapai beban maksimum aktual.
12. Rekap dan analisis data.

3.2 Variabel Penelitian

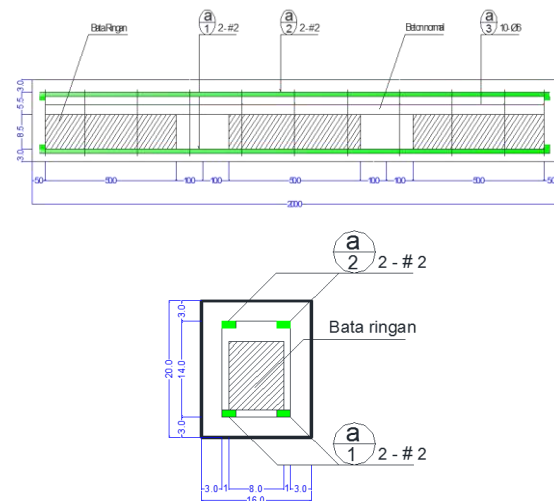
Terdapat hubungan dalam variabel, misalnya untuk variabel A dan variabel B. Variabel B adalah variabel terikat (*dependent*) dan variabel A adalah variabel bebas (*antecedent*).

Variabel penelitian yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas (*antecedent*)
 - Jenis benda uji terdiri dari 2 jenis, yaitu balok komposit beton dan bata ringan bertulangan bambu dengan variasi mutu beton rencana yang berbeda yaitu 15 MPa dan 25 MPa.
- b. Variabel terikat (*dependent*)
 - Besar beban
 - Nilai lendutan

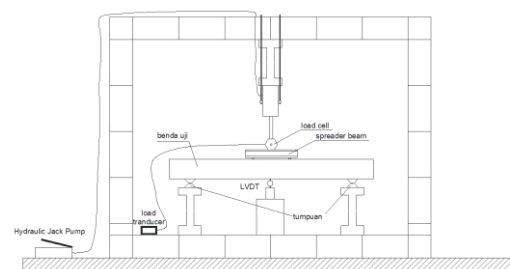
3.3 Benda Uji

Benda uji berupa balok komposit beton dan bata ringan bertulangan bambu dengan variasi mutu beton rencana yaitu 15 MPa dan 25 MPa. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung dan bata ringan yang digunakan adalah bata ringan yang ada di pasaran. Dimensi tulangan bambu 2x1 cm dengan panjang 194 cm, dimensi bata ringan 50 x 8 x 8,5 cm dan 50 x 8 x 6,5 cm. Campuran beton yang digunakan pada benda uji adalah campuran semen, pasir, dan batu pecah 0,5 cm. Balok dicor menggunakan metode pengecoran konvensional yaitu menggunakan bekisting.



3.4 Setting Up

Setting up untuk pengujian balok beton dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari.



3.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah:

1. Balok komposit dengan mutu beton tinggi akan mempunyai berat volume balok yang lebih besar dibandingkan dengan jika menggunakan mutu beton rendah.

2. Balok komposit dengan mutu beton tinggi akan mempunyai kekuatan lentur yang lebih besar dibandingkan dengan jika menggunakan mutu beton rendah.
3. Balok komposit dengan mutu beton tinggi akan mempunyai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan jika menggunakan mutu beton rendah.
4. Balok komposit dengan mutu beton tinggi akan mempunyai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan jika menggunakan mutu beton rendah.
5. Balok komposit dengan mutu beton tinggi akan mempunyai pola retak yang lebih banyak dibandingkan dengan jika menggunakan mutu beton rendah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Bahan Penyusun Balok

❖ *Slump Test*

Pengujian Slump dilaksanakan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton. Angka slump diperoleh dari besarnya penurunan beton segar yang telah dikeluarkan dari dalam cetakan dimana cara pembuatannya adalah mengisi cetakan dengan adukan beton tiap 1/3 lapisan dengan 25 tusukan untuk masing-masing lapisan. Dari hasil pengujian didapatkan nilai slump sebesar 100 mm dimana nilai tersebut masih memenuhi dari target yang diinginkan yaitu 90 mm.

❖ *Pengujian Resapan Air Terhadap Bambu*

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa tinta tidak meresap ke dalam tulangan bambu yang telah direndam selama 3 hari. Hal ini membuktikan bahwa pelapisan cat dan penaburan pasir berhasil mengurangi sifat higroskopis bambu yang mencegah air meresap ke dalam bambu.

❖ *Pengujian Lekatan Bata Ringan dengan Beton*

Pengujian lekatan ini dilakukan guna mengetahui apakah beton dan bata ringan dapat bekerja secara komposit. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa terjadi lekatan antara beton dan bata ringan. Hal ini dikarenakan agregat penyusun antara bata ringan dan beton adalah sama.

❖ *Pengujian Kuat Tekan Beton*

Dalam pengujian kuat tekan beton ini digunakan 6 buah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk 12 buah balok, dimana 6 balok pertama untuk mutu beton rencana 15 Mpa dan 6 buah balok kedua untuk mutu beton rencana 25 Mpa. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 15 MPa

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (fci-fcm) ²			
			Beban Maksimum		Tekan	
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
1	A1	176.715	472	47200	267.097	1599.132
2	B1	176.715	614	61400	347.453	1629.447
3	C1	176.715	542	54200	306.709	0.142
Jumlah					921.260	3228.722
f'c'm					307.087	
SD					40.179	
f'c (kg/cm ²)					241.193	
f'c (Mpa)					24.119	

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 25 MPa

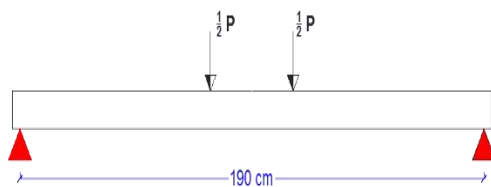
No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (fci-fcm) ²			
			Beban Maksimum		Tekan	
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²
1	A2	176.715	576	57600	325.949	3463.553
2	B2	176.715	679	67900	384.235	0.320
3	C2	176.715	785	78500	444.219	3530.480
Jumlah					1154.404	6994.354
f'c'm					384.801	
SD					59.137	
f'c (kg/cm ²)					287.817	
f'c (Mpa)					28.782	

Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebesar 24,119 MPa, sedangkan mutu beton yang direncanakan pada perencanaan mix design sebesar 15 MPa. Untuk mutu beton rencana sebesar 25 Mpa diperoleh hasil pengujian mutu beton sebesar 28,782.

4.2. Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu)

❖ Pemodelan Struktur

Dalam percobaan ini balok diasumsikan sebagai gelagar sederhana dengan tumpuan sendi-rol dimana diberi beban vertikal yang dibagi menjadi 2 titik. Hal ini dilakukan dengan tujuan supaya mendapatkan hasil pengujian lentur secara murni bukan kegagalan geser pada balok komposit.



❖ Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Berdasarkan perhitungan secara teoritis diperoleh beban maksimum untuk balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa adalah sebesar 2085,9021 kg. Sedangkan untuk balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa diperoleh beban maksimum sebesar 2072,608 kg.

❖ Beban Maksimum Aktual Hasil Pengujian

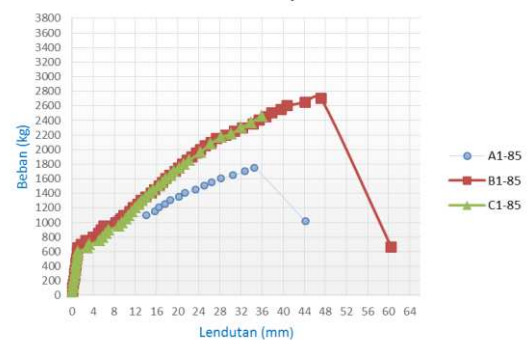
Pengujian balok dilakukan pada saat umur beton mencapai 28 hari. Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan antara Beban Maksimum Aktual dengan Teoritis

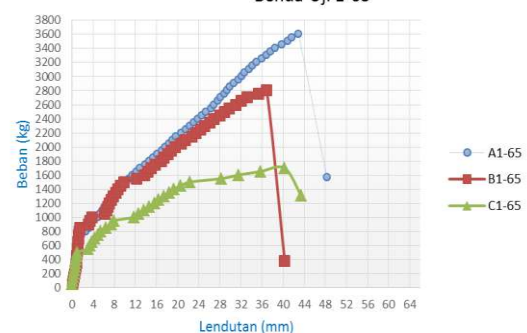
Mutu beton (Mpa)	Benda Uji	P maks (kg)			KR (%)
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
24,57	A1-85	1750			
	B1-85	2718			
	C1-85	2700	2550	2072.608	18.732
	A1-65	3600			
	B1-65	2804			
	C1-65	1730			
29,81	A2-85	2500			
	B2-85	2990			
	C2-85	2200	2463	2088.583	15.202
	A2-65	1850			
	B2-65	1600			
	C2-65	3638			

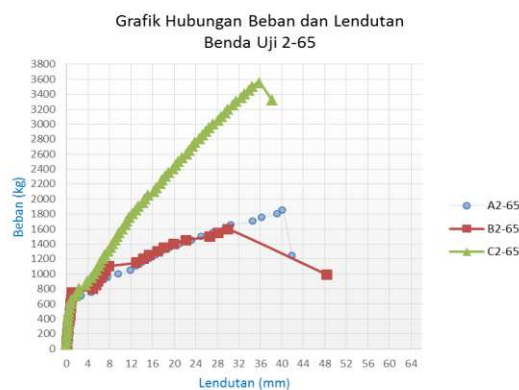
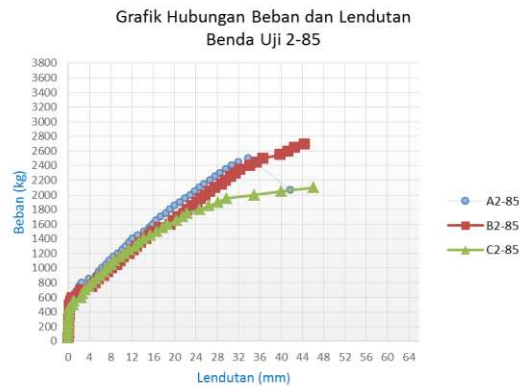
Berdasarkan tabel 4.6 didapatkan hasil secara aktual bahwa mutu beton rendah mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar daripada mutu beton tinggi hal ini dikarenakan selisih mutu beton dasar yang digunakan tidak berbeda jauh sehingga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam perhitungan beban maksimum.

Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1-85



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji 1-65





4.3. Berat Volume Balok Komposit

❖ Berat Volume Teoritis

Dari hasil perhitungan berat volume teoritis diperoleh data seperti yang tertera pada tabel 4.7 dan tabel 4.8 untuk masing-masing mutu betonnya.

Tabel 4.7 Berat Volume Teoritis Mutu Beton 24,57 Mpa

Bahan	Berat/volume (kg/m ³)	Dimensi (m)			n (buah)	Volume (m ³)	Berat (kg)
		lebar	tinggi	pnjg			
Bata ringan							
8,5 cm	583.333	0.08	0.085	0.5	3	0.0102	5.95
Bambu	1000	0.02	0.01	2	4	0.0016	1.6
Beton	2197.517	0.16	0.2	2	1	0.0522	114.710
Baja 6 mm	0.222			0.54	11	5.94	1.319
Total							123.58
Berat/volume (kg/m ³)							1930.923

Tabel 4.8 Berat Volume Teoritis Mutu Beton 29,81 Mpa

Bahan	Berat/volume (kg/m ³)	Dimensi (m)			n (buah)	Volume (m ³)	Berat (kg)
		lebar	tinggi	pnjg			
Bata ringan							
8,5 cm	583.333	0.08	0.085	0.5	3	0.0102	5.95
Bambu	1000	0.02	0.01	2	4	0.0016	1.6
Beton	2200.661	0.16	0.2	2	1	0.0522	114.875
Baja 6 mm	0.222			0.54	11	5.94	1.319
Total							123.74
Berat/volume (kg/m ³)							1933.487

Dengan melakukan perhitungan yang sama untuk mendapatkan berat volume teoritis dengan tinggi bata ringan 6,5 cm didapatkan berat volume sebesar 1991,455 kg/m³ untuk mutu 24,57 Mpa dan 1994,137 kg/m³ untuk mutu 29,81 Mpa.

❖ Berat Volume Aktual

Tabel 4.9 Perbandingan Berat Volume Aktual dan Teoritis

Mutu Beton (Mpa)	Benda Uji	Berat Volume (kg/m ³)			KR (%)
		Aktual	Rata-rata Aktual	Teoritis	
24,57	A1-85	1957.764			
	B1-85	1962.052	1959.664	1930.923	1.467
	C1-85	1959.176			
	A1-65	1997.831			
	B1-65	2000.236	1984.746	1991.455	0.338
	C1-65	1956.171			
29,81	A2-85	2049.549			
	B2-85	1908.365	1985.331	1933.487	2.611
	C2-85	1998.077			
	A2-65	2045.023			
	B2-65	1967.262	1986.418	1994.137	0.389
	C2-65	1946.970			

Berdasarkan tabel 4.9 diperoleh hasil rata-rata berat volume balok komposit aktual, dimana hasilnya tidak jauh berbeda dengan berat volume teoritis. Selisih hasil aktual dan teoritis yang tidak terlalu besar yakni 2,611%.

4.4. Analisis Kekakuan Balok Komposit

❖ Perhitungan Lendutan

Dalam perhitungan lendutan pada beban kondisi elastis 500 kg ,dihasilkan lendutan sebesar 0,252 mm untuk balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa. Sedangkan untuk balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa dihasilkan lendutan sebesar 0,276 mm. Perbandingan nilai lendutan teoritis dan aktual untuk variasi mutu beton dapat dilihat dari tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Lendutan Teoritis dan Aktual

	Benda Uji	Lendutan (mm)			KR (%)
		Aktual	Rata-rata Aktual	Teoritis	
24,57	A1-85	1.085	0.915	0.276	68.183
	B1-85	0.860			
	C1-85	0.970			
	A1-65	0.640			
	B1-65	0.995			
	C1-65	0.940			
29,81	A2-85	0.320	0.578	0.252	54.004
	B2-85	0.250			
	C2-85	0.950			
	A2-65	0.760			
	B2-65	0.720			
	C2-65	0.470			

Nilai lendutan antara mutu beton 24,57 MPa dan 29,81 MPa tidak jauh berbeda karena dalam perhitungan teoritis, nilai kuat tekan beton mempengaruhi nilai modulus elastisitas dimana modulus elastisitas teoritis berbeda dengan modulus elastisitas pada kondisi sebenarnya.

❖ Perhitungan Kekakuan Balok Teoritis

Nilai kekakuan dapat diperoleh dari perbandingan antara nilai beban (P) dan lendutan (Δ), dimana beban yang digunakan berada pada kondisi elastis. Untuk balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa dihasilkan kekakuan sebesar 1879,630 kg/mm. Sedangkan untuk balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa dihasilkan kekakuan sebesar 1717,454 kg/mm.

❖ Perhitungan Kekakuan Balok Aktual

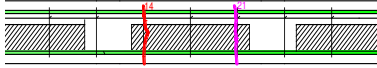
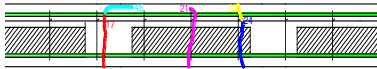
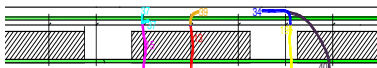
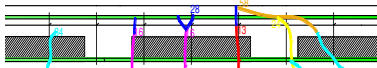
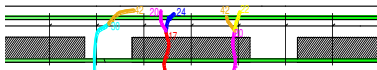

Nilai perbandingan antara kekakuan teoritis dan aktual dapat dilihat pada tabel 4.12.

Mutu Beton (Mpa)	Benda Uji	Kekakuan (kg/mm)			
		Aktual	Rata-rata Aktual	Teoritis	KR (%)
24,57	A1-85	460.829	562.228	1717.454	67.264
	B1-85	581.395			
	C1-85	515.464			
	A1-65	781.250			
	B1-65	502.513			
	C1-65	531.915			
29,81	A2-85	1562.500	1084.164	1879.630	42.320
	B2-85	2000			
	C2-85	526.316			
	A2-65	657.895			
	B2-65	694.444			
	C2-65	1063.830			

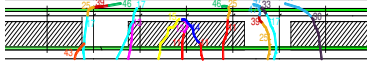
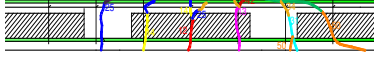
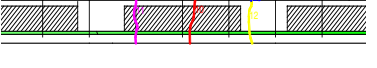
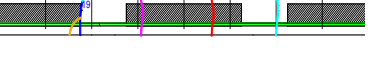

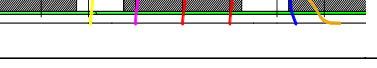
Berdasarkan tabel 4.12 menunjukkan bahwa kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan teoritis. Hal ini dikarenakan lendutan aktual lebih besar dibandingkan lendutan teoritis.

❖ Perbandingan Pola Retak dan Beban Vertikal Maksimum

Tabel 4.13 Tipe Pola Retak Dan Beban Maksimum pada Mutu Beton 24,57 Mpa.

Balok	Pola Retak	Tipe	Pmax
A1-85		A	1750
B1-85		A	2718
C1-85		B	2700
A1-65		B	3600
B1-65		A	2804
C1-65		A	1730

Tabel 4.14 Tipe Pola Retak Dan Beban Maksimum pada Mutu Beton 29,81 Mpa

Balok	Pola Retak	Tipe	Pmax
A2-85		B	2500
B2-85		B	2990
C2-85		A	2200
A2-65		B	1850
B2-65		A	1600
C2-65		B	3638

Berdasarkan tabel 4.13 dan tabel 4.14 terlihat bahwa mutu beton 29,81 MPa memiliki pola retak B yang lebih banyak daripada mutu beton 24,57 MPa, dimana pola retak B memiliki jumlah retak pada balok lebih banyak dan mayoritas merupakan retak geser lentur. Hal ini dikarenakan mutu beton 29,81 MPa memiliki daya lekat terhadap bambu yang lebih tinggi daripada mutu beton 24,57 MPa, sehingga selip pada bambu akan lebih sulit terjadi.

❖ Analisis Statistik

Tabel 4.15 Analisis Statistik

Mutu Beton (MPa)	P(kg)	ΣP	y^2 ijk	$(\Sigma P)^2$	Σ
24,57	1750	15302	3062500	234151204	15302
	2718		7387524		
	2700		7290000		
	3600		12960000		
	2804		7862416		
	1730		2992900		
29,81	2500	14778	6250000	218389284	14778
	2990		8940100		
	2200		4840000		
	1850		3422500		
	1600		2560000		
	3638		13235044		
Σ		30080	80802984	452540488	30080

Tabel 4.16 Analisis Statistik F hitung dan F tabel

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Rataan Kuadrat	Derajat Kebebasan	f Hitungan	f Tabel
Perlakuan	22881	1	22881.33333	0.0466	4.84
Galat	5402451	11	491131.8788		
Jumlah	5425332	12			

Dari analisis statistik didapatkan nilai f hitung lebih kecil dari f tabel. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga variasi mutu beton belum menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap beban maksimum pada balok komposit.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kekuatan lentur balok komposit beton dan bata ringan tulangan bambu dengan variasi mutu beton sebagaimana telah dipaparkan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa menghasilkan berat volume yang lebih besar daripada balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa. Dengan selisih berat volume aktual dan teoritis yang terbesar yakni 2,611%.
2. Kekuatan lentur antara balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa dan mutu beton 24,57 MPa tidak jauh berbeda walaupun secara teoritis mutu beton 29,81 MPa menghasilkan nilai P maks yang lebih besar.
3. Balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa menghasilkan lendutan aktual rata-rata 36,83% lebih kecil daripada balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa. Sedangkan dalam perhitungan teoritis, balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa menghasilkan lendutan 8,69% lebih besar daripada balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa.
4. Balok komposit dengan mutu beton 29,81 MPa menghasilkan nilai kekakuan yang lebih besar daripada balok komposit dengan mutu beton 24,57 MPa saat beban dalam kondisi elastis sebesar 500 kg.
5. Balok dengan mutu beton 29,81 MPa menghasilkan pola retak tipe B dimana menunjukkan jumlah retak pada balok lebih banyak dan mayoritas merupakan retak geser lentur. Sedangkan untuk balok dengan mutu beton 24,57 MPa menghasilkan pola retak tipe A dimana menunjukkan jumlah retak pada balok lebih sedikit dan mayoritas merupakan retak lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni. 2010. Balok dan Pelat Beton Bertulang. Yogyakarta: Graha Ilmu., 1971.
- Ghavami, K. 2004. Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, Cement & Concrete Composites. 27 (2005): 637-649.

- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nindyawati. 2014. *Panel Dinding Beton Ringan Bertulangan Bambu*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Malang : Bargie Media.
- Pathurahman, J. F. & Kusuma, D. A. 2003. Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*. V(1): 39-44
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971, PBI-1971.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri Offset.
- Vis, W.C dan Kusuma G.H., 1994. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Winter dan Wilson A.H., 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga